

산화 아연 피뢰기 소자의 신뢰성 평가 기술

한 세 원 / 한국전기연구원, 신소재응용연구그룹

서론

ZnO 피뢰기는 현재 범 세계적으로 사용되며 전력계통에 있어서 반드시 필요한 과전압 제어 장치이다. 피뢰기가 소정의 성능을 가지고 있는지를 검증하는 것은 전력계통의

신뢰성을 검증하는 것과 밀접한 관련이 있어 매우 중요한 의미를 갖는다. 여기서는 전력용 피뢰기의 국내·외 시험 규격을 중심으로 성능 시험과 신뢰성 평가에 관련한 주요 기술을 소개하였다.

성능 시험 항목

주요 성능 시험 항목을 표 1에 나타내었다. 각 규격 모두 제한 전압 시험, 뇌 썬지 동작책무 시험, 방압 시험, 절연물 내전압 시험 등의 기본 성능을 검증하는 것이 주요 항목이다. IEC 60099와 ANSI C62.11에서는 구조 검사, 절연 저항 시험, 누설 전류 시험, 내열화 시험은 규정하지 않고 있다. 오손 시험은 시험 방법 면에서 차이가 많은데 JEC 217과 ANSI C62.11에서는 규정하고 있으나 IEC 60099-4에서는 검토 중에 있다.

표 1. 주요 성능 시험 항목

시험항목	JEC	IEC	ANSI
동작개시전압	•	*	**
급준뇌임펄스	•	•	•
뇌임펄스	•	•	•
개폐임펄스	•	•	•
뇌서지동작책무	•	•	•
개폐서지동작책무	•	#	-
선로전하방전	-	•	•
안정성평가시험	•	***	***
오손시험	•	-	•
형선재정시험	•	-	-
방압시험	•	•	•
상용주파내전압	•	*	•
뇌임펄스내전압	•	-	•
개폐임펄스내전압	•	**	-
분리장치시험	-	•	•

: IEC 60099-3에 준한다. - : 규정되어 있지 않다.
* , ** , *** : 상세 내용은 규격 참고

제한 전압 시험

피뢰기의 보호레벨은 소정의 임펄스 전류 인가 시 단자 전압간 전압의 상승치로 표시하며 일반적으로 뇌 임펄스와 개폐 임펄스 영역으로 규정한다. 뇌 임펄스 제한 전압은 공칭 방전 전류 또는 급준파(1μs) 뇌 임펄스 전류에 대한 제한 전압값을 확인

한다. 뇌 또는 개폐 임펄스 제한 전압 시험을 구하는 시험 전류 조건을 규격별로 비교하면 표 2와 같다.

표 2. 뇌 및 개폐 임펄스 시험 전류 조건

전류 규격	JEC	IEC	ANSI
뇌임펄스 8/20 μ s	In의 0.5, 1, 2배	In의 0.5, 1, 2배	1.5, 3, 5, 10, 20 kA, In
개폐임펄스 파형	60/150 μ s	30 - 100/60 - 200 μ s	파두장 45 - 60 μ s
개폐임펄스 전류	25 μ F : 1,000A 50 μ F : 1,000A 78 μ F : 1,000A	선로전압방전등급 1, 2 : 125, 500 A 3 : 250, 1,000A 4, 5 : 500, 2,000A	계통전압 3 - 150kV : 500A 151 - 325kV : 1,000A 326 - 900kV : 2,000A

법으로 최근에 확정된 IEC 60099-4 규격이 널리 사용되고 있다.

- 피뢰기 소자의 가속 과전 열화 신뢰성 평가 기술
 - ▶ 상시 과전 열화 대책 : 가속 온도, 과전율
 - ▶ 평가 피뢰기 소자 : 공칭 방전 전류 2.5kA 산화 아연 소자
- 피뢰기 소자 및 피뢰기의 복합 안정도 가속 열화 신뢰성 평가 기술
 - ▶ 기밀(sealing) 신뢰성 평가 기술 : Thermal Heat Cycling
 - ▶ 절연 애관 오손 가속 열화 평가 기술
- 피뢰기 소자의 임펄스 서지 가속 내량 평가 기술
 - ▶ 스위칭 서지, 뇌 서지 임펄스

오손 시험

오손 시험의 목적은 피뢰기의 표면 오손시 운전 전압에 대한 내구성을 확인하고 내부 부분 방전과 소자의 온도 상승 정도를 검사하는 것이다. 각 규격에서 내오손 시험 방법과 과전 방법에서 차이가 있다. 국제 규격에서는 슬러리법(등분무법, slurry), 분무법(solid layer), 염무법(salt fog)의 3가지가 있다. IEC 60099-4, ANSI C62.11 및 JEC 217 규격에서는 모두 슬러리법을 이용한 오손 시험법으로 시험하고 있다. JEC 217에서는 평등 오손 조건에서 연속 사용 전압 또는 TOV로 과전한다. ANSI C62.11에서는 불평등 오손 조건하에서 연속 사용 전압을 과전하여 실시한다. ANSI C62.11에서 규정하는 오손액의 고유 저항은 JEC 217에서 규정된 등가 염분부착 밀도로 환산하면 약 0.005~0.01 mg/cm²에 해당한다. 한편 IEC 60099-4에서의 오손 레벨은 JEC 217 오손 등급과 유사하며 오손에 의한 열적 안정성 확인에 적합한 방

신뢰성 평가 시험

1) 피뢰기 소자/피뢰기 주요 고장 요소와 가속 인자

주요 고장 요소		임계 열화	미세 균열	거시 균열	용융	점연 코팅층 분리	점연 코팅 열화	파열
가속 인자	과전율	◎	◇			○	○	
	가속 온도	○	◇			○	○	◇
	가속 환경 (Oil, SF ₆ 가스)	○				◇	◎	
	온도 변화	○	◇					○
2) 피뢰기 소자 임펄스 내량 신뢰성	스위칭 임펄스	◇	◎	◎	○			○
	단층 임펄스	◇	◎				◎	
	온도 변화		◎	◇	○			
주요 고장 요소		하위점 트래킹	흡습	플래시오버	가스켓 불량	방암 불량	피뢰기 소자	
가속 요인	주수	○	◇	◎			◎	*
	염수오손	◎		◎	○			
	차외연	◎			◇			
	과전압	○		○			◎	
	온도 변화	◇			◎	○	◎	

2) 피뢰기 소자/피뢰기 주요 고장 요소 신뢰성 평가 방법

평가 방법	가속 과전 열화 평가	피뢰기 Sealing 평가	임펄스 내량 평가	열화상 Screening	내트래킹
주요고장 요인					
임계 열화	◎	○	○		
미세 균열	◎		◎	○	
거시 균열			◎	○	
용융			○		
점연 코팅층 분리	○				
점연 코팅 열화	○		◎		
파열			○		
점연 트래킹		◎			○
흡습		○			○
플래시오버					
가스켓 불량		◎			
방암 불량			○		

* 신뢰성에 관련된 중요도에 따라 표시 : ◎가장 중요 ○중요 ◇부동
 * Failure Mode/Mechanism은 해당 부품·소재에서 발생할 수 있는 모든 고장 형태를 나타냄
 * Test Methods는 해당 발생고장유형 일으킬 수 있는 시험방법을 나타냄

가속 내량 평가

- ▶ 단시간 과전압 내력 평가
- ▶ 급준파 및 멀티 임펄스 가속 열화 시험

산화 아연 피뢰기는 평상시 소자에 사용 전압이 인가되어 있으므로 이 전압 스트레스에 대한 안정성을 확보하는 것이 중요하다. 또한 뇌 썩지 등에 의한 에너지를 흡수한 후 연속 사용 전압에서 열폭주가 발생하지 않도록 정상 온도(상온)으로의 안정한 특성 복구가 요구된다. 특히 실제 필드에서 장기 과전, 각종 썩지 스트레스를 고려한 안정성을 확보하기 위해서는 피뢰기 용기의 열방산 능력이 중요한 요인으로 알려져 있어 규격에 이를 반영하고 있다. 산화 아연 소자는 저전류 영역 I-V 특성에서 온도가 상승하면 저항값이 감소하는 부극성 온도 특성을 갖는다. 이때 사용 전압에 대한 누설 전류가 증가하고 이 영향으로 소자의 온도가 상승하게 된다. 이러한 사이클이 반복되면 피뢰기는 열폭주에 이를 수 있다. 피뢰기의 안정성에 관한 문제점 다음의 3가지 요인이다.

- A) 과전 수명 열화 : 상시 사용 전압에 의한 피뢰기 소자 특성 열화에 의한 열폭주
- B) 썩지 열화 : 각종 썩지 전압을 흡수한 후 소자 특성 열화에 의한 열폭주
- C) 열 안정성 : 피뢰기 발열, 방열 특성에 의한 것으로 썩지전압 등의 열 충격을 받은 후 사용 전압에서의 열폭주

이와 같이 최종적으로 열폭주에 이르게 되는데 A)는 소전류 영역의

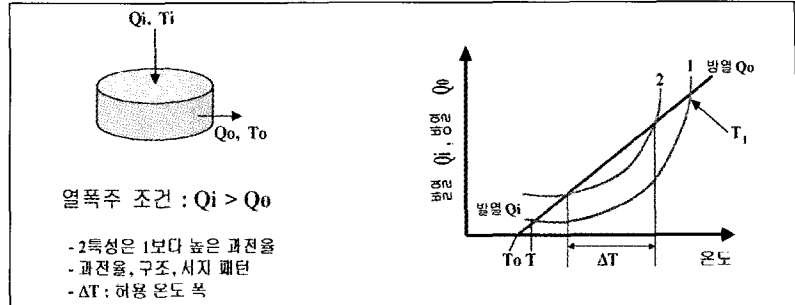


그림 1 피뢰기 열 밸런스 특성

I-V 특성과 수명 특성에 의존하는 열화, B)는 소자의 썩지 열화에 의한 소전류 영역의 I-V 특성의 변화에 의존하는 경향, C)는 피뢰기의 발열, 방열 특성과 각종 충격에 의존하여 열 안정성에 영향을 미친다.

그림 1과 같이 정상 상태의 피뢰기는 소자에서 발생하는 열량(Q_i)이 발산되는 열량(Q_o)과 열적 평형 상태를 이룬다. 이 경우 소자 온도 T는 주변 온도 T_0 보다 높고 온도차($T - T_0$)에 대응하는 열량 Q_o 가 방산된다. 그러나 과전, 뇌 또는 개폐 썩지 등의 원인으로 인해 소자 온도 T가 소정의 온도(T_1)를 초과하면 $Q_i > Q_o$ 의 관계가 되면 열이 소자 내부에 축적되어 열폭주에 이른다. 한편 피뢰기의 열안정 특성은 피뢰기의 과전율, 구조, 열 인가 방식 등과 밀접한 관계를 갖는다. 방열 곡선 2는 곡선 1에 비해 높은 과전율에서 사용되는 경우의 특성을 나타낸 것으로 열 인가에 의한 온도 상승(ΔT)의 허용 폭이 좁아진다. 이러한 신뢰성을 시험하는 방법으로 IEC 60099-4와 ANSI C62.11에서는 대전류 임펄스 동작책무시험 및 개폐 썩지 동작 책무시험으로 규정하고 있으며 JEC 217의 경우 안정성평가시험

항목을 따로 규정하여 시험한다. 이때 차이점은 동일한 소자를 가지고 가속 과전 시험을 포함한 썩지 열화 시험을 일련으로 이어 실시하는 것이다.

각 규격의 판정기준으로는 1)물리적 상흔, 2) 시험 전후의 제한전압 변화 허용치, 3) 열적 안정성 검증의 방법을 적용한다. 열적 안정성 검증은 그림 2에서의 곡선 1에 해당하는 경우 안정한 제품으로 판정한다. 이때 곡선 4, 5의 경우는 연속 사용 전압에서 누설전류가 증가하여 열폭주에 이르기 때문에 불합격에 해당한다.

가속 수명 시험

피뢰기 소자는 상시 사용 전압이 인가되기 때문에 장시간 사용하는 경우 이 전압에 의한 소자 특성의 변화가 발생할 수 있다. 가속 수명 시험

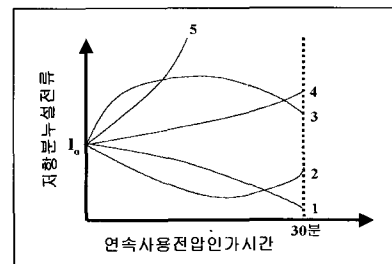


그림 2 피뢰기 열 안정성 특성 곡선

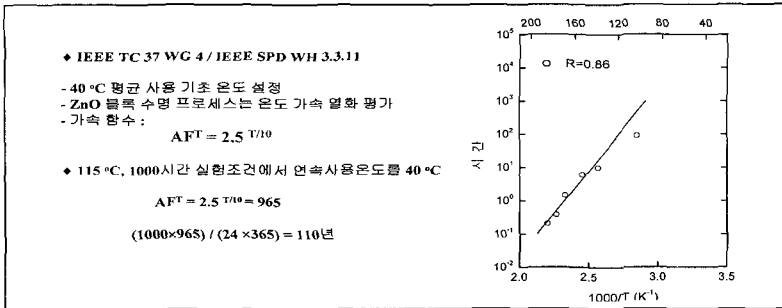


그림 3 파뢰기 소자의 과전 열화 특성 경시 특성

은 이러한 특성 변화를 검토하는 것이 목적으로 실시한다. 일반적인 파뢰기 소자의 과전 열화 특성 경시 특성은 그림 3과 같다. 단조롭게 증가하지 않고 감소 후 증가하는 소자가 일반화되었다. 예를 들면 130°C, 과전률 0.85의 조건에서 10년 간 경과하여도 누설전류는 거의 증가하지 않기 때문에 아레니우스 경시 특성으로 적절한 수명 판단이 곤란한 것이 사실이다. 그러나 이 소자도 최종적으로는 열폭주에 이르게 되고 누설전류도 증가하는 과정을 거치기 때문에 단조로운 누설전류 증가 패턴의 소자와 동일하게 시험하는 것이 일반적이다. 구체적인 시험 조건은 표 3에 나타난 바와 같이 IEC 및 ANSI와 JEC가 차이가 있다. IEC와 ANSI는 100년의 과전 내구성을

목적으로 과전 조건을 설정한 반면 JEC의 경우 일반적 사용 기간인 30년에 해당하는 과전 조건으로 시험을 규정하고 있다.

ANSI와 IEC에서는 동작 책무 시험에서 열안정성 시험의 인가 전압을 결정하는 수단으로 과전 열화 정도를 시험한다. 하지만 JEC의 경우 별도의 열안정성 평가 시험을 두고 제 1구간에서 소자의 과전 열화를 시험하여 안정성을 검증한다. 초기 파뢰기 소자는 과전 시간이 증가하면 누설전류가 증가하는 특성을 가지고 있기 때문에 아레니우스 경험식에 따른 경시 특성의 예측이 가능하였다. 그러나 최근 산화아연계 소자의 경우 경시에 따라 누설전류가 IEC 60099-4와 ANSI C62.11 조건은 내구성 여분을 지나치게 넓

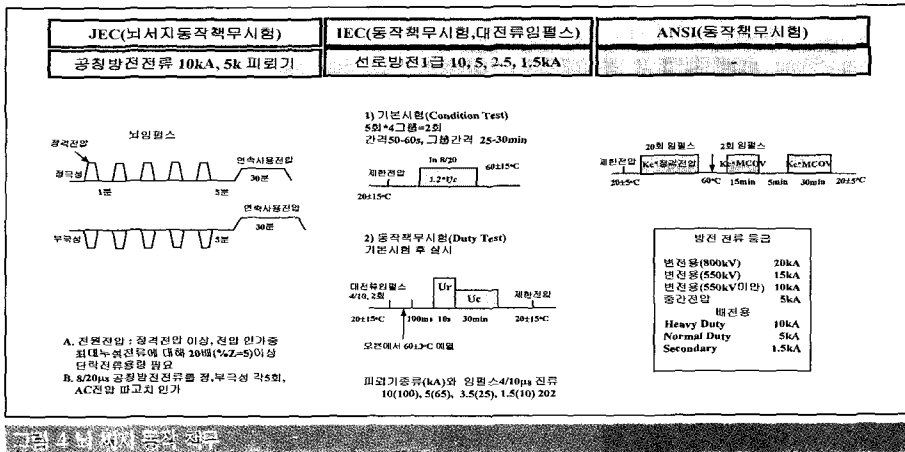
게 설정되었다고 보는 것이 일반적 견해로 주변 다른 절연물이나 전력 기기의 내구성 연한을 고려하면 JEC의 30년 가속수명 기준이 타당하다고 판단된다. 한편 여기서는 IEC 60099-4와 JEC 217의 일련의 신뢰성 평가 과정을 고려하여 생각하는 것이 중요한데 IEC 60099-4는 일종의 단독적 과전 열화 평가 방식으로 시험 후 시편은 그 이후 다른 신뢰성 시험에 사용하지 않는 반면 JEC 217에서 과전 수명 시험이후 임펄스 썬지 신뢰성 시험을 이어서 적용하는 방법을 택하기 때문에 보다 실제적인 평가 신뢰성 평가 방법으로 인정되고 있다.

뇌 썬지 동작 책무 시험

뇌 썬지 동작 책무는 실계통에서 파뢰기에 가해지는 뇌 썬지에 대한 동작 상황과 신뢰성을 모의하는 시험이다. 소정의 단위 뇌 썬지 동작 책무를 반복 조작하여 확인한다. 그림 4는 각 규격의 뇌 썬지 동작 책무 패턴을 나타내었다. ANSI C62.11와 JEC 217에서는 파뢰기의 정격 전압을 인가하여 뇌 썬지를 중첩하는 동작 책무를 행한 후, 연속 사용 전압을 과전하여 열 안정을 확인한다. IEC 60099-4에서는 연속 사용 전압의 1.2배 전압 인가하여 뇌 썬지를 중첩한 후, 임펄스 대전류를 2회 인가하여 정격 전압 및 연속 사용 전압을 과전하여 열안정성을 검증한다. 일반적으로 IEC 60099-4의 이런 뇌 썬지 동작 책무 조건은 뇌 썬지 중첩을 통한 기본 시험(condi-

표 3. 가속 수명 시험 방법

규격	JEC(*84)	IEC(*87)	ANSI(*91)
평가 기준	안정성평가시험 1 구간 : 과전열화	동작책무 ; 과전열화 정도	동작책무 ; 과전열화 정도
가속 온도, 시간 조건	105±3°C, 180 h or 115°C, 70 h	115±4°C, 1,000 h	115±2°C, 1,000 h
예상수명	25°C, 30년	40°C, 100년	40°C, 100년
인가 전압	연속사용전압	연속사용전압	연속사용전압
분위기	공기 중	실제사용환경 (공기, 가스, 오일)	실제사용환경 (공기, 가스, 오일)



tioning test)에 이어 대전류 임펄스 시험이 일련으로 이어지기 때문에 다른 규격 보다 엄격하고 합리적인 뇌 임펄스 신뢰성 시험으로 받아들여지고 있다.

피뢰기 고장 확률

피뢰기에 피해를 가져다 주는 임펄스 썬지 에너지를 고려하여 고장에 이르는 확률은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Pf = \int_0^{\infty} \left[\int_{y(T)}^{\infty} f(Ip) dIp \right] g(T) dT$$

여기서 P_f 는 피뢰기 고장 확률, $f(Ip)$ 는 뇌 임펄스 피크 전류의 확률 밀도 함수, $g(T)$ 는 뇌 임펄스 전류 파형의 확률 밀도 함수, $y(T)$ 는 Tt 에 의해 손상을 일으키는데 필요한 최소 전류이다. 일반적으로 뇌 임펄스 썬지에 의해 배전급 피뢰기에 가해지는 썬지 에너지는 여러 가지 환경을 고려하여 공칭방전전류 2.5kA 및 5kA 피뢰기에 대해 10kJ~30kJ에서 손상이 시작되는 것을 알려져

있다(그림 5). 이 정도의 썬지 에너지는 약 10%의 사고 확률에 해당하며 이때 생산자에게 품질 관리면에서 개별 ZnO 소자의 신뢰 확률은 98%이상으로 계산된다. 그림 6은

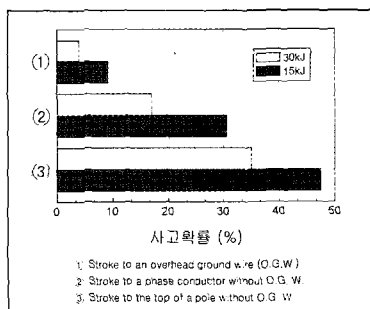


그림 5 배전급 피뢰기의 사고 확률

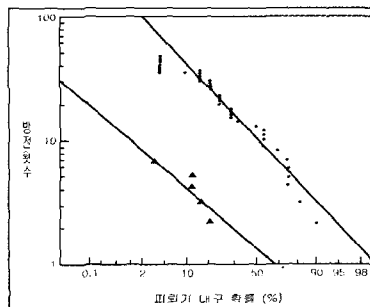


그림 6 배전급 피뢰기의 뇌 임펄스 내구 확률에 대한 Log-Normal 직률 분포. (a) 6kA, (b) 20kA

8/20 μ s(20kA) 및 6/17 μ s(65kA)의 뇌 임펄스 책무 신뢰성을 시험한 결과이다.

IEC 60099-4와 ANSI C62.11에서는 뇌 임펄스 책무 조건으로 앞에 설명한 그림 4와 같이 4/10 μ s(ANSI C62.11 : 65kA, IEC 60099-4 : 100kA) 2회 실시 후, 조금 다른 방법으로 8/20 μ s(10kA 또

는 20kA) 20회의 뇌 썬지 책무 시험을 실시하도록 규정하고 있다. 실제로 배전급 피뢰기(공칭 방전 전류 5kA 이하)의 경우도 임펄스 시험 전류값을 낮추어 동일한 조건으로 그 내구성을 확인하게 된다. 특히 JEC의 뇌 썬지 동작 책무는 공칭 방전 전류 5kA급 이상의 피뢰기 소자의 책무 시험에 적합하게 이루어져 있기 때문에 2.5kA급 피뢰기 소자에 대한 썬지 동작 책무에 따른 신뢰성 평가는 IEC 방법이 적절하다고 판단된다. 8/20 μ s 동작책무 방식은 현재 대부분 단일 파형 발생 방식으로 다수 회 인가하는 방식을 택하고 있다. 실제 계통 환경에 가해지는 뇌 임펄스의 약 10% 이상이 다중 뇌 임펄스 형태로 나타난다. 최근 피뢰기 관련 국제 규격 연구기관의 실험 결과에 따르면 단일 뇌 임펄스 동작 책무의 경우 주로 열 에너지의 안정성에 의해 결정되지만 다중 뇌의 경우 열 안정성 문제 뿐만 아니라 ZnO 소자의 표면 섬락에 의한 사고를 수반하는 것으로 확인되었다. 따라서 이러한 점을 고려하여 기존 단일 뇌

임펄스 방식의 전체적인 시험 내량은 유지하면서 인가 방식을 다중 뇌 인가 방법을 선택하면 뇌 써지 동작 책무 평가의 신뢰성을 높일 수 있다.

안정성 평가 시험

JEC 217의 경우 30년 정도의 장기 실패율 적용을 대상으로 예상되는 각종 책무를 별개의 평가 항목으로 규정하여 안정성을 검증한다. 그림 7은 JEC 217의 안정성 평가 시험 과정을 요약한 것이다. 이러한 과정은 IEC 60099-4와 ANSI C62.11의 동작 책무 안정성 시험과 동일한 내용으로 구별된 시험 방법으로 제시하는 것이 특징이다. 앞에서 언급한 바와 같이 피뢰기의 주 열화 요인이 되는 교류 과전 가속 열화 시험(제 1영역), 임펄스 써지 열 안정화 검증 시험(제 2, 3영역) 그리고 제 4 영역에서는 단시간 과전압(TOV) 내량을 검증하는 과정으로 규정되어 있다. 일련의 이러한 평가 방법은 실제 피뢰기의 열화를 모의하는 합리적인 내용을 담고 있다. 이러한 개념은 과전 가속 열화에서 뇌 써지 임펄스 책무에 의한 열안정성 평가 과정

을 연속적으로 실시하고, 신뢰성 확인 개념을 갖는 제4영역의 TOV 내량 평가는 상용 주파 전압-시간 특성 평가로 나누어 실시하기 때문에 보다 합리적인 신뢰성 평가 방법을 구축할 수 있다.

상용주파 전압-시간 특성

산화아연 피뢰기는 직렬 공극이 없기 때문에 전력 계통에 적용 시 소자는 상시 전압이 과전된다. 따라서 단시간 교류 과전압(TOV)에 대한 피뢰기의 전압-전류 특성과 외부 회로 조건에 대응한 비교적 지속 시간이 긴 방전전류가 흐르는 경우가 있다. CIGRE SC 33-WG 33.10에 따르면 TOV는 계통 최고 전압을 초과하는 전압으로 2 사이클 이상 지속되는 과전압으로 정의하고 있다. 최근 계통이 복잡, 다변화되면서 이러한 단시간 교류 과전압에 대한 대책이 중요하게 제시되고 있다. 상용주파 전압-시간 특성은 이러한 TOV의 내량을 검증하는 신뢰성 평가 항목이다. 물론 발·변전 또는 송전급의 초고압 피뢰기의 경우 TOV에 의한 흡수 에너지가 크기 때문에 이러

한 대책은 더욱 중요하게 다루어지고 있으나 배전급의 경우는 상대적으로 TOV 흡수 에너지가 작아 적절한 내량 검증이 요구된다. JEC 217의 경우 TOV 내량 검증은 안정성 평가 시험 항목의 제4영역에서 검증하도록 규정하고 있다. IEC 60099-4 규정의 경우 제조사가 제시한 피뢰기 제품의 TOV와 내량 시간(0.1초~20분)을 확인하도록 규정하고 있다. 그림 8과 같이 5단계의 선로 방전 에너지 내량 등급으로 분류하여 적용 개소에 적절하게 제조된 피뢰기의 TOV 내량을 시험하게 된다. 연구 보고에 따르면 257kA 미만의 계통에 적용되는 피뢰기의 경우 과전압치 1.36pu, 처리 에너지 내량 수 kJ 이하로 나타나고 있다. 과전압치 1.36pu는 피뢰기 정격 전압의 87% 정도에 해당하는 것으로 뇌 써

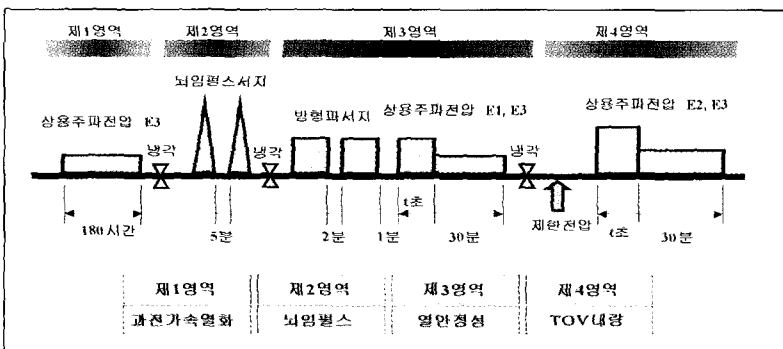


그림 7 JEC의 안정성 평가 시험 과정

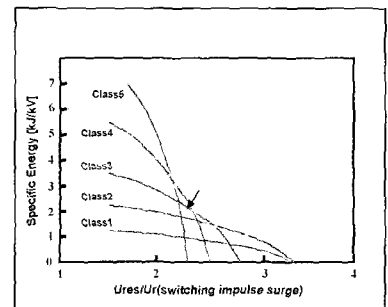


그림 8 IEC 선로 방전 등급

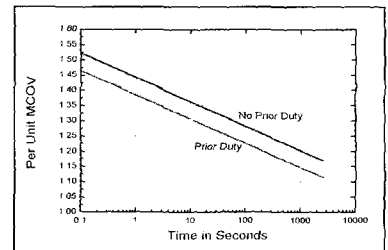


그림 9 GE사의 피뢰기 소재(IEC 산용방전) 등급의 TOV 내량 곡선 예

지 에너지 내량 평가 시험 범위에 해당하게 된다. 따라서 257kV급 이하 계통의 경우 TOV 내량 검증을 엄격히 규정하지 않는 경향이 있다. 하지만 과전압치 1.40pu 이상 요구되는 경우 처리 에너지값이 커지기 때문에 제조자가 제시한 값의 신뢰성 확인이 필요하다. 또한 GE, ABB사와 같은 피뢰기 제조 회사의 경우 배전급(1kA~5kA급) 피뢰기 소자에 대해서도 과전압치 1.2pu에서 1.5pu 정도의 TOV 내량 곡선을 제시하는 것이 일반적이다. 그림 9는 GE사에서 제시한 피뢰기 소자(IEC 선로 방전 2등급)의 한 예를 나타낸 것이다.

주요 피뢰기 신뢰성 평가 시험 설비

다음 현재 KERI에서 운용중인 주

요 피뢰기 신뢰성 평가 관련 시험 설비를 나타낸 것이다.

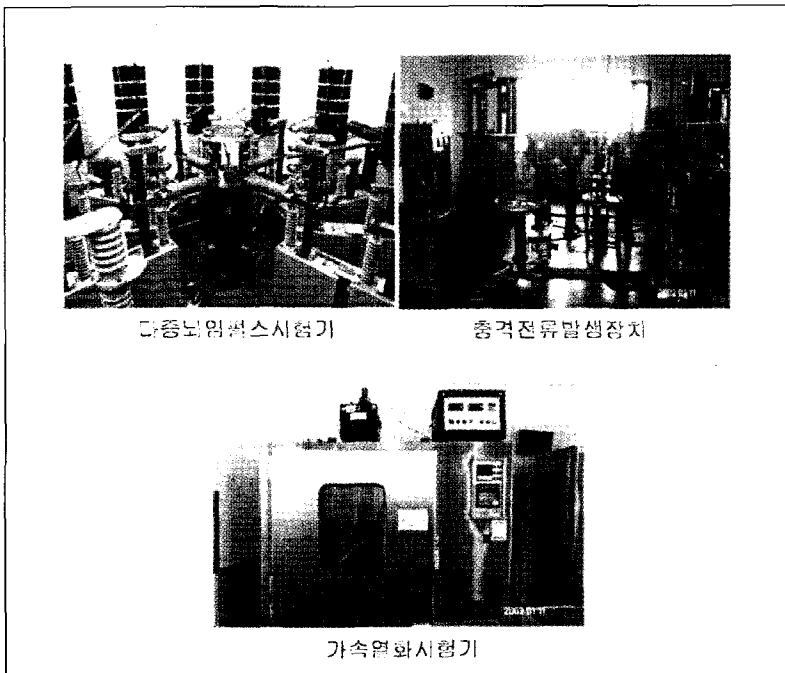
결론

전력용 피뢰기의 국내·외 시험 규격을 중심으로 성능 시험과 신뢰성 평가에 관련한 주요 기술을 소개하였다. 피뢰기는 낙뢰 및 이상 과전압을 억제하는 가장 능동적이고 효율적인 보호 시스템이기 때문에 고장이나 사고에 대한 신뢰성이 더욱 강조된다. 국내의 전력용 피뢰기 제조 및 시험 평가 기술은 최근에 활발히 개발되는 단계에 있다. 한편 이러한 기술 검토를 근간으로 다양한 피뢰기 개발 연구 활성화와 더불어 피뢰기 신뢰성 규격화(RS) 사업도 추진되어 기술적 성장이 이루어지고 있다. 위에서 제시된 피뢰기 성능 및 신뢰성 평가 기술은 최선의 전력용

피뢰기가 개발되는데 도움이 되도록 향후 더욱 보완, 검토할 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] IEC 60099-4, " Surge Arresters, Part 4 : Metal Oxide Surge Arresters without Gaps for AC System", 1991
- [2] ANSI C62.11, "IEEE Standard for Metal Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits", 1987
- [3] KS C 4609, "산화 아연 갭리스 피뢰기", 1987
- [4] JEC-217, "산화 아연형 피뢰기", 1984
- [5] M. Darveniza, D.R. Mercer, "Laboratory Studies of the Effects of Multi-pulse Lightning Currents on Distribution Surge Arrester", IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 8, pp. 1035-1044, 1998
- [6] CAN/CSA C233.1-87, "Gapless Metal Oxide Surge Arresters for Alternating Current System", 1987
- [7] M. V. Lat and J. Kortschinski, "Distribution Arrester Research" , IEEE PAS, Vol.100, No.7, 1981
- [8] Andre Hamell, "Comparison of ANSI, IEC and CSA Standards" Durability Requirements on Station Type Metal Oxide Surge Arresters for EHV Power Systems", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.7, No.3, 1992



다중노임펄스시험기

충격전류발생장치

가속열화시험기